

Schnelle Signalvorverarbeitung in der Weißlichtinterferometrie durch nichtlineare Signalaufnahme

Thomas Seiffert

Robert Bosch GmbH, FV/PLF2, Postfach 30 02 40, 70442 Stuttgart

[mailto: Thomas . Seiffert @ de.bosch.com](mailto:Thomas.Seiffert@de.bosch.com)

In der Weißlichtinterferometrie wird auf rauen Messobjekten Höheninformation über die Einhüllende des Korrelogrammes berechnet. Ein neues Verfahren der Amplitudendemodulation im Pixel ermöglicht deutliche Unterabtastung. Dies wird durch Logarithmierung des Korrelogramms erreicht. Dadurch wird die Intensität unsymmetrisch und ein Tiefpass kann die Einhüllende herausfiltern.

1 Weißlichtinterferometrie

Die Weißlichtinterferometrie ist ein Verfahren zur Erzeugung von Höhenkarten. Dabei wird eine breitbandige Lichtquelle in einem interferometrischen Aufbau nach Michelson verwendet.

1.1 Korrelogramm

Beim Verschieben des Objektes in Richtung z entsteht ein Interferenzsignal, das Korrelogramm:

$$I(z) = I_0 + I_1 \cdot E(z) \cdot T(z) \quad (1)$$

Dabei lässt sich das Intensitätssignal (1) in einen Träger $T(z)$ und eine Einhüllende $E(z)$ zerlegen. Die Einhüllende ist gaußförmig und das Maximum liegt an der Stelle der gesuchten Höheninformation z_0 .

$$E(z) = \exp\left(-\frac{4(z-z_0)^2}{l_c^2/2}\right) \quad (2)$$

Die Kohärenzlänge l_c bestimmt die Breite der Gaußfunktion. Diese liegt im Bereich von wenigen Wellenlängen bei Halogenbeleuchtung und bis zu 20 μm bei Verwendung einer LED [1].

$$T(z) = \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda}(z-z_0) + \varphi\right) \quad (3)$$

Die Frequenz des Trägers $T(z)$ wird durch die mittlere Wellenlänge λ bestimmt. Auf rauen Oberflächen ist der Phasenanteil φ unbekannt. Deshalb liefert auf rauen Oberflächen alleine die Einhüllende die gewünschte Höheninformation [1].

2 Unterabtastung

Bestimmender Faktor der zur Aufnahme benötigten Zeit ist die Anzahl der Bilder, die während eines Scans gemacht werden müssen. Deshalb führt eine Unterabtastung zu einer wesentlichen Reduktion der Messzeit. Bekannte Unterabtastverfahren haben jedoch den Nachteil, dass eine sehr genaue Synchronisation mit dem Signal erfolgen muss.

Das Verfahren nach [2] (Dynamisches Kohärenzradar) tastet das Signal (1) mit einem ganzzahligen Vielfachen der Trägerfrequenz ab. Das Ergebnis ist direkt die Einhüllende. Durch die zufällige Verteilung der Phase φ haben jedoch nur wenige Messpunkte volle Intensität.

Das Verfahren nach [3] (Shuttergesteuertes Kohärenzradar) verwendet eine geeignete feste Unterabtastfrequenz. Das resultierende Signal hat nicht mehr die Trägerfrequenz, die Einhüllende kann jedoch zurückgerechnet werden.

3 Einhüllendendemodulation mit logarithmischer Signalaufnahme

Hier wird ein Verfahren vorgestellt, das bereits im Aufnahmeelement das Signal so transformiert, dass danach eine beliebige Unterabtastung vorgenommen werden kann.

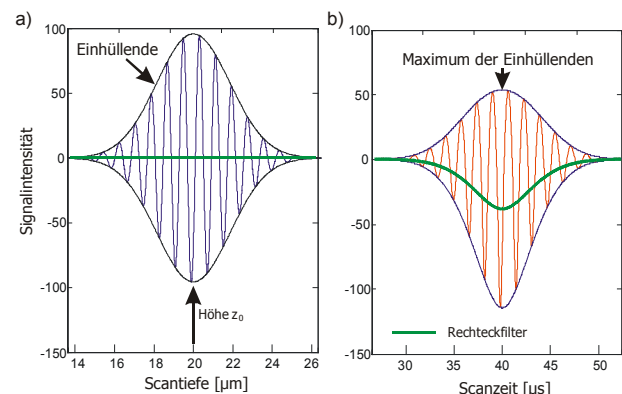


Abb. 1 a) Korrelogramm mit Einhüllende. **b)** Korrelogramm mit logarithmischer Signalaufnahme. Das Maximum der Einhüllenden entspricht der Objekthöhe.

Dazu wird das Intensitätssignal des Empfängers logarithmiert. Es findet anschaulich eine schwächere Gewichtung der Signalspitzen des Korrelogrammes statt, siehe dazu Abb. 1. Durch ein gleitendes Mittelwertfilter ist die Einhüllende einfach zu detektieren.

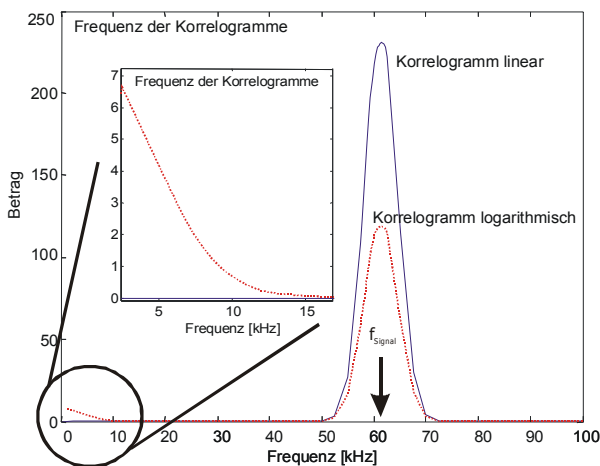


Abb. 2 Frequenz der Signale vor und nach der Logarithmierung. Die tieffrequenten Anteile können zur Unterabtastung verwendet werden.

Im Frequenzraum wird sichtbar, dass ein Anteil wesentlich tieferer Frequenzen nach der Logarithmierung des Signals vorhanden ist (Abb. 2). Ein Tiefpass entfernt die hochfrequenten Anteile, unter anderem auch die Cosinus-Schwingung des Trägersignals.

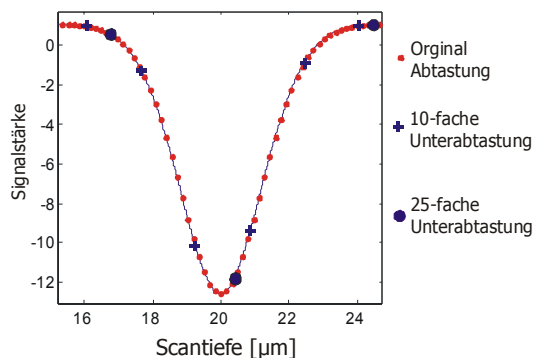


Abb. 3 Signal nach der Rücktransformation, bzw. nach der Filterung. Punkte der 10- und 25-fachen Unterabtastung.

Die Rücktransformation, Abb. 3, zeigt die negative Einhüllende. Liegt also die bisherige Abtastfrequenz bei 60 kHz, so genügt nach der Tiefpassfilterung eine Abtastung von wenigen kHz. Unter Verwendung des Vorwissens, dass die Einhüllende eine Gaußfunktion darstellt (siehe 1.1), kann die Abtastung auf wenige Punkte innerhalb der Einhüllenden reduziert werden. Die Nyquistfrequenz wird nicht mehr durch den Träger, sondern durch die Einhüllende bestimmt.

Bei diesem Verfahren wird die Einhüllende nicht direkt rekonstruiert. Das Maximum befindet sich jedoch an der selben Stelle.

4 Technische Realisierung

Die Anwendung als Punktsensor ist einfach umzusetzen. Logarithmierende Sensoren benötigen nur wenige Schaltungselemente. Die

Tiefpassfilterung kann im einfachsten Fall durch ein einfaches passives RC-Glied aufgebaut werden.

4.1 Anwendung als Flächensensor

Logarithmierende Bildsensoren liefern einen zeitlichen Momentanwert des tiefpassgefilterten Signals, haben also genau das gesuchte Verhalten [4]. Logarithmische CMOS-Bildsensoren haben Einschwingzeiten von hundert Nanosekunden [5] bis wenigen Millisekunden [6]. Wird dieses Tiefpassverhalten ausgenutzt, ergeben sich Messgeschwindigkeiten von 80 $\mu\text{m/s}$ bis 500 $\mu\text{m/s}$. Allerdings ist der Effekt so gering, dass er für die breite Messtechnik nicht anwendbar ist. Zudem ist die Einschwingzeit antiproportional von der Intensität abhängig [7].

Die Tiefpassfilterung kann im Fall einer Kamera jedoch auch durch die Integration geleistet werden. Allerdings sind Kameras, die eine logarithmische Kennlinie besitzen und gleichzeitig nachfolgend ein integrierendes Verhalten haben, bisher nicht kommerziell verfügbar.

5 Ergebnis und Ausblick

In Anwendungen mit einer sehr große Scantiefe kann eine massive Unterabtastung erzielt werden, wenn die Kohärenzlänge lang genug ist. Eine Anwendung des Verfahrens ist auch bei anderen Messprinzipien möglich, die eine Amplitudemodulation durchführen. Dazu gehört zum Beispiel die optische Kohärenztomographie (OCT).

Literatur

- [1] T. Dresel, G. Häusler, H. Venzke, "3D-sensing of rough surfaces by 'coherence radar'", *Appl. Opt.* 31, pp. 919-925 (1992)
- [2] Stefan Blossey: „Das dynamische Kohärenzradar - ein schneller, hochgenauer optischer 3D-Sensor“, *Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg* (1996)
- [3] Gunther Bohn: „Hardware-implementierte Algorithmen zur Optimierung des Meßprinzip Kohärenzradar“, *Dissertation, Universität Erlangen Nürnberg* (2002)
- [4] Ralf Hauschild: „Integrierte CMOS-Kamerasysteme für die zweidimensionale Bildsensorik“, *Dissertation, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg* (1999)
- [5] Lutz Brekerbohm: „Entwicklung eines intelligenten Bildsensorsystems mit dem CMOS-Bildsensor FUGA 1000“, *Workshop CMOS-Kameratechnik, TU Ilmenau* (2002)
- [6] Thomas Seiffert: „Messverfahren und Kenngrößen zur Beurteilung des dynamischen Kontrastaufklärungsvermögens elektronischer Bildaufnehmer“, *Diplomarbeit, Universität Karlsruhe* (2001)
- [7] N. Ricquier, B. Dierickx: „Random addressable CMOS image sensor for industrial applications“, *Sensors and Actuators A*, vol. 44, pp. 29–35 (1994)